

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АУДИТ И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*д-р физ.-мат. наук, проф. В.Ф. Крапивин, канд. физ.-мат. наук В.Ю. Солдатов
Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова РАН*

*канд. техн. наук И.И. Потапов
Всероссийский институт научной и технической информации РАН, г. Москва*

Проведен анализ проблемы применения нанотехнологий в решении задач мониторинга окружающей среды. Отмечены определенные достижения и недостатки исследований в этой области. Охарактеризованы различные наноматериалы, применение которых в системах мониторинга позволяет решать многие задачи. Указаны перспективные задачи, решение которых может повысить эффективность систем геоинформационного мониторинга. Отмечено, что использование материалов наноразмеров в системах мониторинга окружающей среды обеспечивает более тонкий анализ многих газовых и жидких загрязнителей окружающей среды с повышенной вероятностью их обнаружения. Указано, что использование наночастицы из золота, серебра и железа при создании сенсоров вследствие их электронных, оптических, каталитических и термальных свойств позволяют обнаруживать ртуть в почве, воде и рыбе с высокой точностью. Магнитные наночастицы оксида железа при использовании в системах мониторинга обеспечивают функции обнаружения загрязнителей воды и воздуха. Оксиды металлов, такие как двуокись титана, широко используются в сенсорах для обнаружения пестицидов, органических красителей и фенолов в воде, а также метана, окислов азота и углерода в воздухе. Данная работа выполнена по Госзаданию № 0030-2019-0008.

Ключевые слова: нанотехнология, наночастицы, мониторинг, сенсор, окружающая среда, обнаружение.

FEATURES OF NANOTECHNOLOGIES USING FOR THE SOLUTION OF ENVIRONMENTAL MONITORING TASKS

V.F. Krapivin, V.Yu. Soldatov, I.I. Potapov

An analysis of the problem of using the nanotechnologies for the solution of environmental monitoring tasks is realized. Specific achievements and weakness are marked concerning the investigations in this area. Different nanomaterials are characterized to be used in the monitoring systems and to solve the many problems. Perspective tasks are shown a solution of

which can rise the effectiveness of the geoinformation monitoring systems. It is marked that using the nano-scale materials in the environmental monitoring systems provide the most precise analysis of many gas and liquid pollutants of the environment with more precise probability of their detection. It is shown that using the nano-particles from gold, silver and iron for the synthesis of sensors owing to their electronics, optical, catalytic and thermal properties provides the functions of detection of mercury in the soil, water and fish with high precision. Magnetic nano-particles of iron oxide when their use in the monitoring systems provide the detection functions of pollutants of the water and air. Metal oxides such as titan dioxide are used widely in the sensors for the detection of pesticides, organic colorants and phenols in the water as well as of methane, nitrogen oxides and carbon in the air.

Key words: nanotechnology, nano-particles, monitoring, sensor, environment, detection.

1. Введение

Начало 21-го столетия можно охарактеризовать как период бурного развития нанотехнологий и их применения в различных областях деятельности населения нашей планеты: в медицине, транспорте, сельском хозяйстве, энергетике, производстве различных материалов, системах связи и информационных технологиях [4,7,11,15]. Конечно, это в первую очередь относится к развитым государствам, где нанотехнологическая наука и промышленность являются незаменимым атрибутом общества, которое перешагнуло барьер между индустриальной и постиндустриальной фазами развития [5, 12, 13]. Тем не менее, многие азиатские регионы также интенсивно развиваются, проявляя озабоченность по сохранению природной среды. Эта озабоченность была озвучена на первой международной конференции по применению нанотехнологий в охране окружающей среды тихоокеанского региона, которая состоялась в 2005 г. в Бангкоке (Таиланд) [17].

И если в последние годы речь шла о создании технологий защиты окружающей природной среды от загрязнения в традиционном понимании этого термина, то сейчас идет речь о появлении совершенного нового понимания этой проблемы, а именно о защите от нанозагрязнений. Другими словами, развитие нанотехнологий требует создания защитных средств от загрязнения почвы, воздуха и гидросферы совершенно нового поколения. Ведь существующие очистные сооружения не могут защитить окружающую природную среду от нанозагрязнений.

Экологический мониторинг в ближайшем будущем ждут большие перемены, которые в первую очередь потребуют:

- разработать эффективные методы обнаружения наночастиц в природных средах (воде, воздухе и почве);
- развить методики определения токсичности наноматериалов;
- создать фильтры и системы очистки воды от наноматериалов;
- развить методы оценки риска от применения нанотехнологий.

Организация мониторинга окружающей среды в условиях применения наноматериалов невозможна без изучения путей их миграции в пространстве и понимания законов формирования из них наноструктур. Известно [6], что миллионы молекул содержат атомы углерода. Поэтому развитие нанотехнологий в первую очередь сопровождается изучением свойств атомов уг-

углерода. Здесь имеются следующие три обстоятельства, без понимания которых невозможно проследить пути миграции наноматериалов в окружающем пространстве:

- Связь атомов углерода с другими типами атомов реализуется за счет ковалентной связи. При этом формируются молекулы со свойствами, характерными другим атомам.

- Каждый атом углерода может формировать ковалентные связи с четырьмя другими атомами одновременно. Эта особенность атома углерода позволяет образовывать цепочку углеродных атомов и соответственно обеспечивать получение наноматериалов с широким спектром свойств.

- Нет других элементов в периодической таблице Менделеева, которые бы так надежно связывались между собой в цепочки различной длины. При этом короткие цепочки атомов углерода являются характерными для газа, например, пропана. Длинные цепочки атомов углерода входят в твердые вещества. Образование же двух и трех мерных решеток из атомов углерода соответствует, например, бриллианту и алмазу.

2. Преимущества нанотехнологий при мониторинге окружающей среды

В первую очередь необходимо отметить те положительные эффекты, которые могут возникать при применении нанотехнологий, если оценивать качество окружающей природной среды. Согласно [10,11] можно выделить следующие области деятельности человека, где применение нанотехнологий может решить некоторые проблемы охраны окружающей среды:

- распознавание и обнаружение химических веществ в воде и воздухе;
- корректировка и обработка природных сред в условиях их загрязнения;
- предотвращение загрязнения природной среды.

Использование материалов наноразмеров в системах мониторинга окружающей среды связано с созданием сенсоров газа и ферментов, иммуносенсоров и геносенсоров, различных каталитических биосенсоров и сенсоров биологической схожести. Сенсоры, основанные на использовании наночастиц благородных металлов с зависящими от их размеров оптическими свойствами, широко используются в диагностике жидких растворов, биологии и медицине. Вообще категории наносенсоров включают механические, тепловые, оптические, магнитные, химические и биологические.

Определенный успех уже достигнут при решении задач повышения эффективности мониторинга атмосферного воздуха и водных систем. Например, твердотельные сенсоры газа, основанные на тонких пленках нанокристаллического оксида металлов, по сравнению с обычными методами хемилюминесценции или ультракрасной спектроскопии обеспечивают высокое разрешение по элементам и увеличивают оперативность получения данных измерений. Твердотельные сенсоры газа традиционно изготавливаются из оксидов металлов, таких как олово, цинк, алюминий и др. При этом используются пленки толщиной менее 100 нм, что обеспечивает высокую чувствительность, улучшенную избирательность и сокращенное время отклика сенсора. Это преимущество достигается за счет того, что твердотельные сенсоры из нанопленок имеют на своей поверхности более активные области, способные поглощать больше молекул газа. За счет этого повышается возможность идентифицировать состав газа с большей надежностью.

Согласно [6] большие перспективы заложены в применении методов акустической спектроскопии при диагностике полидисперсных систем. В частности, использование акустической спектроскопии позволяет достичь точности в 2% при определении наличия наночастиц окислов металлов (200-700 нм) в жидкой среде.

Особое значение приобретает применение нанотехнологий в решении задач экологического мониторинга водных систем. Толчком к интенсивному развитию исследований в этом направлении было принятие в 2000 г. в Европе нового стандарта точности измерения содержания химических веществ в воде на уровне единиц мкг/л. Для достижения этой цели в университете Tübingen и в технологическом Центре водных ресурсов в Karlsruhe была создана система AWACSS (Automated Water Analyzer Computer Supported System), которая может примерно за 18 мин. тестировать 32 различных химических вещества с точностью 1 мкг/л [18]. Система работает на основе использования TIRF (Total Internal Reflection Fluorescence) технологии [19].

Другим важным направлением применения нанотехнологий в решении задач охраны окружающей среды является использование наноматериалов для очистки воздуха и воды от загрязнения. Например, наноразмерные частицы нульвалентного железа могут эффективно выводить из водных растворов тяжелые металлы, пестициды, хлорированные органические растворители, летучие органические компоненты и т.п. Особое значение приобретает технология наночистки воды и воздуха с помощью наномембран. Сейчас широко распространены наномембраны на основе углеродных нанотрубок или наноклапильных матриц. Они могут иметь две функции по выведению загрязнителя из среды: механическим путем или химической активностью. Химически активные наномембраны превращают загрязнитель в побочный продукт, который не обладает ингибирующим свойством. О темпах развития этого направления можно судить на основе прогнозируемого производства нанотрубок с 3 млрд в 2009 г. до 13 млрд. в 2014 г.

Загрязнение окружающей среды в значительной мере связано с производством и использованием энергии. Нанотехнологии вносят в эти процессы ряд аспектов, обеспечивающих повышение эффективности энергетических ресурсов за счет более точного контроля температурных параметров и создания энергоемких осветительных устройств, а также путем создания более легких и крепких материалов для автомобильной промышленности. Среди этих материалов в последнее время появились сверхпрочные и химически стойкие нанопластики или нанокристаллическая керамика, для производства которых применяются цирконий, нитрид кремния и карбид кремния.

Особое внимание уделяется производству солнечных фотогальванических устройств на основе наноматериалов. Здесь применяются комбинированные кристаллические и некристаллические нано пленки солнечных элементов, изготавливаемые с использованием теллурида кадмия, полимеров и органических активированных красителей [3]. Например, на основе сульфида и теллурида кадмия были получены гибкие солнечные элементы с эффективностью 11,4%.

3. Современные наноматериалы для мониторинга окружающей среды

В применении современных наноматериалов для природного мониторинга можно указать на два направления:

- корректирующие функции и обработка, в которых наноматериалы действуют как абсорбенты или разрушители загрязняющих природную среду химических веществ;

- элементы устройств, которые осуществляют обнаружение и идентификацию загрязнителей окружающей среды.

Наночастицы и наноструктуры имеют размеры менее 100 нм и это обеспечивает им особые свойства по сравнению с традиционными материалами. К современным наноматериалам относятся металлические, полупроводниковые и керамические наночастицы, нанопроводники, нанотрубки и нановетви, а также их композиции. Уникальность этих материалов определяется их механическими, электрическими, оптическими, каталитическими, магнитными и фотонными свойствами, а также экстремально высокой площадью поверхности.

Табл. 1 суммирует наиболее значимые современные наноматериалы и наноструктуры с указанием их характеристик и потенциального применения в области природного мониторинга. Нанотрубки были открыты в 1991 г. [5]. Они делятся на два типа:

- одностенные углеродные нанотрубки диаметром примерно 1,5 нм;
- многостенные углеродные трубки с 2-30 концентрическими слоями графита диаметром 3-50 нм.

Металлические наночастицы из золота, серебра и железа составляют одну из наиболее важных направлений нанотехнологии вследствие их электронных, оптических, каталитических и термальных свойств. В частности, на их основе создаются электрохимические ДНК (DNA) сенсоры, позволяющие обнаруживать ртуть в почве, воде и рыбе с высокой точностью. Магнитные наночастицы оксида железа используются в системах мониторинга, обеспечивая им функции обнаружения загрязнителей воды и воздуха. Оксиды металлов, такие как двуокись титана, широко используются в сенсорах для обнаружения пестицидов, органических красителей и фенолов в воде, а также метана, окислов азота и углерода в воздухе.

Наноконпозиционные материалы, комбинируемые из материалов нанометрового размера (например, углеродные трубки, металлические наночастицы) с золь-гель полимерами или другими компоновщиками, позволяют решать специфические задачи мониторинга. В частности такие материалы могут выступать в роли сорбентов ароматических компонент, фильтров для очистки воды и применяться в виде биодатчиков. Нанопористые сорбенты типа цеолитов с высоко упорядоченной структурой алюминия, кремния и кислорода обладают перестраиваемым ионным обменом и имеют гидрофобные или органотфильные поглощающие свойства.

Объекты с квантовыми свойствами в виде коллоидных неорганических нанокристаллических флуорофоров с уникальными фотофизическими характеристиками используются как сенсоры ионов металлов, пестицидов, фенолов и взрывчатых веществ. Древовидные полимерные наноструктуры с различным числом ветвей и различными длинами широко применяются при создании нанофильтров для выведения органических загрязнителей из многих сред.

Ферментные сенсоры имеют широкую область применения в медицинских и биологических исследованиях, сельском хозяйстве и ветеринарии, экологии, пищевой промышленности и т.д. С помощью ферментных электродов диагностируются лекарственные препараты и их метаболиты, пестициды, тяжелые металлы, биогенные амины и другие жизненно важные биологически активные вещества. Табл. 2 дает краткую характеристику применяемых биосенсоров (биоэлектродов).

Примеры современных наноматериалов для использования в системах природного мониторинга

Наноматериалы	Тип	Свойства	Потенциальное применение
Углеродные нанотрубки	Одно и много оболочковые с различными диаметрами и длинами	Электрокаталитическая активность, высокая сорбирующая способность	Сорбирующие вещества, различные типы химических и биологических сенсоров.
Металлические наночастицы	Au, Ag различных форм и размерностей	Электрокаталитическая активность, Ag имеет антибактериальную активность	Сорбенты, различные типы химических и биологических сенсоров.
Оксид магнитного железа	Fe_3O_4 , Fe_2O_4 , Fe_3S_4 , $MeO-Fe_2O_3$, где M=Ni, Co, Zn и др.	Суперпарамагнетизм, каталитический участок для H_2O_2	Иммуномагнетическое разделение и ступенные вещества
Оксиды полупроводниковых металлов	TiO_2 , ZnO , ZrO_2 , SiO_2	Фотокаталитическая, антибактериальная и электрокаталитическая активность	Фотокаталитическое тестирование вредных газов и биотестирование.
Квантовые точки	Неорганические флуорофоры с интенсивным изменением размеров и состава	Фотолуминесценция, высокая сорбирующая способность, биологическая совместимость с ферментами, DNA и Ab.	Обнаружение изменений в интенсивности фотолуминесценции.
Синтетические полимеры	Сверхразветвленные наноструктуры с различной длиной и ветвями наноразмеров	Большая площадь поверхности с функционализированными конечными группами, высокая сорбирующая способность	Сенсоры и микроматрицы DNA, построение фильтров для очистки воды.

Биосенсоры и области их практического применения [14]

Фермент	Индикаторный электрод	Определяемое вещество	Область применения
Уреаза	Аммонийный, газочувствительный CO ₂ , NH ₃	Мочевина (субстрат) Фториды, тяжелые металлы	Клиническая диагностика, экология
Пенициллиназа	pH-метрический	Пенициллин	Фармацевтическая промышленность
Оксидаза L-аминокислот	Аммонийный	L-аминокислоты: цистеин, лейцин, тирозин, триптофан, фенилаланин, метионин и другие	Пищевая промышленность, производство биопрепаратов, санитарная экспертиза и др.
Оксидаза D-аминокислот	Аммонийный, газочувствительный NH ₃	D-аминокислоты: фенилаланин, тирозин, метионин, лейцин, триптофан и другие	Клинический анализ, производство биохимических препаратов, пищевая промышленность
Моноаминоксидаза	Газочувствительный NH ₃	Биогенные амины: серотонин, тирамин, адреналин, триптамин, норадреналин, бензил-амин; производные бензимидазолов, гидразина, акридины, атропин, метацин и др.	Клиническая диагностика, фармацевтическая и пищевая промышленности, санэкспертиза, сельское хозяйство
Ацетил-, бутирил-, холинэстераза	pH-метрический, редоксиметрический, газочувствительный CO ₂	Субстраты - холиновые и тиохолиновые эфиры уксусной, пропионовой и масляной кислот; атропин, эзерин, прозерин, пестициды антихолинэстеразного действия, ионы металлов	Химико-токсикологический анализ, сельское хозяйство, ветеринария
Аспарагиназа	Аммонийный	Аспарагин	Медицина, производство биопрепаратов, пищевая промышленность
Глюкозооксидаза	Иодидный, pH-метрический	Глюкоза	Медицина
Нитрредуктаза	Аммонийный	Нитриты	Сельское хозяйство, токсикология, экология, ветеринария, санэкспертиза
Нитратредуктаза	Газочувствительный NH ₃	Нитраты	Сельское хозяйство, токсикология, экология, ветеринария, санэкспертиза
Креатиназа	Газочувствительный NH ₃	Креатинин	Клинический анализ, производство биопрепаратов

Некоторые из перечисленных в табл. 2 ферментных электродов выпускаются для продажи и используются для определения мочевины, креатинина, аминокислот, спиртов, глюкозы и некоторых других веществ в многокомпонентных растворах. Свойство предметной избирательности ферментных электродов является их преимуществом по сравнению с большинством распространенных методов диагностики растворов. Особенно важны биосенсоры на основе ферментных электродов при диагностике экологических систем с целью выявления присутствия в них определенного класса химических соединений. Такие биосенсоры могут работать в режиме реального времени. Примером такого биосенсора можно назвать ферментный электрод, разработанный во Франции [8,9] на основе ацетилхолинэстеразы, и способны автономно фиксировать до десяти показателей качества воды и определяя 0.003 мг этилпараоксона, 0.005 мг метилпараоксона, 0.004 мг малатиона, 0.014 мг этилпаратиона и метилпаратиона и другие антихолинэстеразного действия вещества. Измерениям не мешает минерализация вод на уровне не более 0.1 моль/л хлорида калия. Предусмотрена реактивация ацетилхолинэстеразы после действия необратимых ингибиторов растворами оксимов. В частности, фирма *Compagnie Generale des Eaux* (Франция) использует этот сенсор для качественного контроля водопроводной воды в Париже. Вообще биосенсоры широко используются в пищевой промышленности и медицине [12, 16].

Широкое распространение получили оптические наносенсоры [1, 2], используемые для контроля биологических процессов, анализа эффективности лекарственных средств и мониторинга окружающей среды. Они позволяют с высокой чувствительностью и разрешением обнаруживать и количественно оценивать химические и биологически активные вещества. В настоящее время разработаны несколько конструкций биосенсоров, из которых можно выделить два типа оптических биосенсоров:

- основанных на использовании плазмонного резонанса, и
- так называемое "оптическое резонансное зеркало".

В обоих случаях детектирование межмолекулярного взаимодействия основано на регистрации изменения показателя преломления среды при образовании комплекса белка, иммобилизованного на резонансном слое измерительной кюветы с его партнером, и очень высокой чувствительностью за счет использования резонансных эффектов.

4. Экологическая опасность нанотехнологий

Основная идея нанотехнологии состоит в том, что производство нанопроductов осуществляется из деталей, размеры которых находятся на атомном уровне. Опасность наноматериалов заключается в их микроскопических размерах, что в современных условиях приводит ко многим эффектам:

- химические свойства «нановещества» могут в значительной степени меняться из-за проявлений квантовых эффектов, что в итоге может сделать безопасное вещество очень опасным;
- в силу своих малых размеров наночастицы могут свободно проходить сквозь клеточные мембраны в живых организмах, повреждая клеточные органеллы и нарушая работу клеток;
- процессы переноса наночастиц в окружающей среде с воздушными и водными потоками, их накопления в почве, донных отложениях могут значительно отличаться от поведения частиц веществ более крупного размера;

- многие наноматериалы обладают гидрофобными свойствами или являются электрически заряженными, что усиливает процессы адсорбции на них различных токсикантов и способность последних проникать через барьеры организма;

- неизвестно, смогут ли защитные системы организма человека распознавать наночастицы и выводить их из организма, а следовательно, возможно их накопление.

Наноматериалы применяются во многих сферах человеческой жизни, включая их использование при производстве, например, различных кремов в парфюмерии. Нанесение таких кремов на кожу может вызвать проникновение наночастиц в кровь человека с непредсказуемыми последствиями для здоровья. Среди известных эффектов отрицательного характера, широко обсужденных в научной и научно-популярной печати, можно отметить следующие:

- распыление нанотрубок в атмосфере приводит к их попаданию в легкие и последующему распространению через кровь по всему организму;

- поступление нанотрубок в водную среду вызывает распространение нановолокон по пищевым цепям и массовой гибели живых организмов;

- попадание нанотрубок в питьевую воду не могут предотвратить даже новейшие современные очистители питьевой воды;

Применение наноматериалов без развития новой инфраструктуры, например, обработки сточных вод, может вызвать непредсказуемые последствия из-за быстрого распространения наноматериалов в водоемах. К сожалению, имеется множество примеров, когда опасности такого рода становятся реальностью. Например, в США изобретена наноткань для борьбы с нефтяными разливами. Но ведь очевидно, что при её применении неизбежны повреждения этой ткани и попадание нановолокон в водную среду. Другими словами, наряду с использованием термина нанозагрязнения должно развиваться совершенно новое направление наноэкологии. Уже сейчас необходимо разрабатывать эффективные методы обнаружения наночастиц в природных средах (воде, воздухе и почве), разрабатывать методики определения токсичности наноматериалов и нормировать содержание различных наночастиц в окружающей среде, разрабатывать новые методы оценки воздействия на окружающую среду антропогенной деятельности.

Наряду с экологической опасностью применения нанотехнологий очевидно их военное применение. Ведь создание взрывных устройств с начинкой нанотрубками приведет к опасности, превосходящей атомное оружие.

Литература

1. *Кобзева И.Н.* Оптические сенсоры для биосенсорных диагностических систем на основе поверхностно-плазмонного резонанса // Вестник КДПУ им. М. Остроградского, 2009, т. 57, № 4, с. 53-56.

2. *Калтанец О. Н., Евдокимов Ю. М.* Оптические биосенсоры генотоксикантов на основе наноконструкций ДНК и портативных дихрометров // УФН, 2009, т.179, № 3, с. 329–334.

3. *Кративин В.Ф., Потанов И.П., Солдатов В.Ю.* Нанотехнологии и проблемы экологического мониторинга // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2010, №8, 3-12

4. *Хрипунов Г.С., Черных Е.П., Ковтун Н.А., Белоногов Е.К.* Гибкие солнечные модули на основе сульфидов и теллурида кадмия // Физика и техника полупроводников, 2009, т.43, № 8, с. 1084-1089.

5. *Andresescu S., Njagi J., Ispas C., and Ravalli M.T.* JEM spotlight: applications of advanced nanomaterials for environmental monitoring // *Journal of Environmental Monitoring*, 2009, No. 11, pp. 27-40.
6. *Booker R. and Boysen E.* *Nanotechnology for Dummies*. Wiley Publ., Inc., Indianapolis, Indiana, USA, 2005, 387 pp.
7. *Dukhin A.S., Goetz P.J., Fang X., and Somasundaran P.* Monitoring nanoparticles in the presence of larger particles in liquids using acoustics and electron microscopy // *Journal of Colloid and Interface Science*, 2010, vol. 342, no. 1, pp. 18-25.
8. *El Yamani H., Tran-Minh C., Abdul M.A., Chavanne D.* Automated system for pesticide detection. // *Sens.Actuators*. 1988.- Vol.15.- P.193.
9. *El Yamani H., Tran-Minh C., Abdul M., Dupont M.* Automatic unit for measurement of toxicity of river water. // *J.Fr.Hydrol.*- 1987.- Vol.18.- N1.- P.67-75.
10. *Hristozov D. and Ertel J.* Nanotechnology and sustainability: benefits and risks of nanotechnology for environmental sustainability // *Forum der Forschung*, 2009, vol. 22, pp. 161-168.
11. *Khanna V.K.* *Nanosensors: physical, chemical and biological*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2012, 637 pp.
12. *Liao KC, Hogen-Esch T, Richmond FJ, Marcu L, Clifton W, Loeb GE.* Percutaneous fiber-optic sensor for chronic glucose monitoring in vivo // *Biosens Bioelectron*. 2008 May 15; 23(10):1458-65.
13. *Nanotechnology in environmental applications*. BCC Research, 2006, Wellesley, M.A., 274 pp.
14. *Nanotechnology and the Environment*. Report of the National Nanotechnology Initiative Workshop, May 8-9, 2003, Arlington, V.A., 54 pp.
15. *Palleschi G., Mascini M., Martinez-Fabregas E. and Alegret S.* Urea determination in human sera with an ammonium ion selective electrode made with solid inner electric contact and immobilised urease // *Analytical Letters*. - 1988. – Vol. 21, No. 7. - P.1115-1129.
16. *Pickup J.C., Zhi Z.L., Khan F., Saxl T., Birch D.J.* Nanomedicine and its potential in diabetes research and practice // *Diabetes Metab Res Rev*. 2008 Nov-Dec; 24(8):604-10.
17. *Schulte J. and Dutta J.* Nanotechnology in environmental protection and pollution // *Science and Technology of Advanced Materials*, 2005, no. 6, pp. 219-220.
18. *Slobodnic J. and Proll G.* AWACSS-Automated Water Analyser Computer Supported System // www.ei.skjdovc/WPS_Newsletter_AWACSS_Final.pdf
19. *Takayuki N.* Total internal reflection fluorescence microscopy and its illumination optics // *J. of the National Institute of Information and Communication Technology*, 2005, vol. 52, no. 1/2, pp. 301-302.

Bibliography

1. *Kobseva I.N.* Optical sensors for biosensor diagnostic systems based on the surface-plasmon resonance // *Bulletin of M. Ostrogradsky' KDP*, 2009, vol. 57, no 4, pp. 53-56 [in Russian].
2. *Kompanets O.N. and Evdokimov Yu. M.* Optical biosensors of genotoxins on the base of DNA nanoconstructions and portable dichrometers // *Achievements of Physical Science*, 2009, vol.179, no 3, pp. 329-334 [in Russian].
3. *Krapivin V.F., Potapov I.I., Soldatov V.Yu.* Nanotechnologies and ecological monitoring problems. // *Problems of the Environment and Natural Resources*. 2010. N.8. P. 3-12.

4. *Chripunov G.S., Chernych E.P., Kovtun N.A., Belonogov E.K.* Flexible solar modules based on the sulphide and cadmium telluride // Physics and semi-conductor technics. 2009. V.3. N.8. P. 1084-1089.
5. *Andresescu S., Njagi J., Ispas C., and Ravalli M.T.* JEM spotlight: applications of advanced nanomaterials for environmental monitoring // Journal of Environmental Monitoring, 2009, No. 11, pp. 27-40.
6. *Booker R. and Boysen E.* Nanotechnology for Dummies. Wiley Publ., Inc., Indianapolis, Indiana, USA, 2005, 387 pp.
7. *Dukhin A.S., Goetz P.J., Fang X., and Somasundaran P.* Monitoring nanoparticles in the presence of larger particles in liquids using acoustics and electron microscopy // Journal of Colloid and Interface Science, 2010, vol. 342, no. 1, pp. 18-25.
8. *El Yamani H., Tran-Minh C., Abdul M.A., Chavanne D.* Automated system for pesticide detection. // Sens.Actuators. 1988.- Vol.15.- P.193.
9. *El Yamani H., Tran-Minh C., Abdul M., Dupont M.* Automatic unit for measurement of toxicity of river water. // J.Fr.Hydrol.- 1987.- Vol.18.- N1.- P.67-75.
10. *Hristozov D. and Ertel J.* Nanotechnology and sustainability: benefits and risks of nanotechnology for environmental sustainability // Forum der Forschung, 2009, vol. 22, pp. 161-168.
11. *Khanna V.K.* Nanosensors: physical, chemical and biological. Boca Raton, FL: CRC Press, 2012, 637 pp.
12. *Liao KC, Hogen-Esch T, Richmond FJ, Marcu L, Clifton W, Loeb GE.* Percutaneous fiber-optic sensor for chronic glucose monitoring in vivo // Biosens Bioelectron. 2008 May 15; 23(10):1458-65.
13. Nanotechnology in environmental applications. BCC Research, 2006, Wellesley, M.A., 274 pp.
14. Nanotechnology and the Environment. Report of the National Nanotechnology Initiative Workshop, May 8-9, 2003, Arlington, V.A., 54 pp.
15. *Palleschi G., Mascini M., Martinez-Fabregas E. and Alegret S.* Urea Determination in Human Sera With an Ammonium Ion Selective Electrode Made With Solid Inner Electric Contact and Immobilised Urease // Analytical Letters. - 1988. - Vol. 21, No. 7. - P.1115-1129.
16. *Pickup J.C., Zhi Z.L., Khan F., Saxl T., Birch D.J..* Nanomedicine and its potential in diabetes research and practice // Diabetes Metab Res Rev. 2008 Nov-Dec; 24(8):604-10.
17. *Schulte J. and Dutta J.* Nanotechnology in environmental protection and pollution // Science and Technology of Advanced Materials, 2005, no. 6, pp. 219-220.
18. *Slobodnic J. and Proll G.* AWACCSS-Automated Water Analyser Computer Supported System // www.ei.skjdovc/WPS_Newsletter_AWACSS_Final.pdf
19. *Takayuki N.* Total internal reflection fluorescence microscopy and its illumination optics // J. of the National Institute of Information and Communication Technology, 2005, vol. 52, no. 1/2, pp. 301-302.